

Heft 72

# Unterströmung von Stauanlagen auf klüftigem Untergrund unter Berücksichtigung laminarer und turbulenter Fließzustände

von Dr.-Ing.  
**Renald Soyeaux**

Bibliothek Wasser und Umwelt  
(TU Darmstadt)



61513116

Bibliothek des Fachgebietes  
Hydraulik und Hydrologie

Technische Hochschule Darmstadt  
D-6100 Darmstadt/Petersenstraße

Inhaltsverzeichnis

	Seite
<b>Symbole</b>	<b>IV</b>
<b>1. Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Allgemeines	1
1.2 Aufgabenstellung	3
<b>2. Klufthydraulik</b>	<b>6</b>
2.1 Bewegungsgleichung	6
2.2 Zweidimensionale laminare Spaltströmung	7
2.3 Eindimensionale laminare Spaltströmung	8
2.4 Fließgesetze und Widerstandsgesetze	9
2.4.1 Fließformeln und Widerstandsgesetze	9
2.4.2 Grenzen der Widerstandsgesetze	13
2.4.3 Definition einer neuen variablen Grenze zwischen laminaren und turbulenten Widerstandsgesetzen	15
2.4.4 Anwendung der klufthydraulischen Gesetze	18
2.5 Geschwindigkeitshöhe und Energieverluste	19
2.6 Kluft mit Füllung	21
<b>3. Modellansätze für klüftigen Fels</b>	<b>22</b>
3.1 Überblick	23
3.1.1 Kontinuierliche (homogene) Modelle	23
3.1.2 Doppel-Porositäts Modelle	24
3.1.3 Diskontinuierliche (diskrete) Modelle	24
3.1.4 Gekoppelte kontinuierliche/diskrete Modelle	26
3.1.5 Klassifizierung	27
3.2 Diskrete Modelle	27
3.2.1 Systematik	28
3.2.2 Verfahren von Louis (Q-Gleichungen)	31
3.2.3 Verfahren von Wittke (H-Gleichungen)	33
3.2.4 Verfahren von Schwille und Ubell (AQ-Gleichungen)	34
3.2.5 Andere Verfahren	35
<b>4. Trennflächen - Arten und Parameter</b>	<b>36</b>
4.1 Trennflächenarten	36
4.2 Kluftparameter	37
4.2.1 Kluftorientierung	38
4.2.2 Kluftabstand und -dichte	40
4.2.3 Klufterstreckung	42
4.2.4 Kluftöffnungsweite	43
4.2.5 Kluftrauheit	44
4.2.6 Kluftfüllung	46

5.	<b>Trennflächenstatistik</b>	48
5.1.	Definition und Zweck	48
5.2	Bezug zur Allgemeinen Statistik	49
5.3	Verteilungen der Trennflächenstatistik	51
5.3.1	Stetige Verteilungen	51
5.3.2	Diskrete Verteilungen	55
5.4	Trennflächenparameter und ihre Verteilungen	55
5.4.1	Raumstellung von Trennflächen	56
5.4.2	Trennflächenmittelpunkte	58
5.4.3	Trennflächenabstände, Trennflächendichte	59
5.4.4	Erstreckung der Trennflächen	62
5.4.5	Öffnungsweite der Trennflächen	63
5.4.6	Sonstige Parameter	63
6.	<b>Verfahren zur Kluftnetzzerzeugung</b>	64
6.1	Allgemeines	64
6.2	Verfahren nach <i>Gartling</i> und <i>Thomas</i>	64
6.2.1	Allgemeines	64
6.2.2	Algorithmus zur Kluftnetzgenerierung	65
6.2.3	Bemerkungen und Kritik	67
6.3	Verfahren nach <i>Long</i> , <i>Remer</i> , <i>Wilson</i> und <i>Witherspoon</i>	68
6.3.1	Allgemeines	68
6.3.2	Algorithmus zur Kluftnetzgenerierung	68
6.3.3	Bemerkungen	70
6.4	Sonstige Verfahren	71
7.	<b>Neuer Ansatz zur Kluftströmungsberechnung</b>	73
7.1	Idee, Konzept	73
7.2	Analogie Kluftnetz - Rohrnetz	74
7.3	Graphentheoretische Grundlagen	77
7.4	Berechnungsschritte	83
7.4.1	Kluftnetzstruktur	84
7.4.2	Gleichungssystem	84
7.4.3	Druckhöhenabgleich und Korrekturglied	85
7.4.4	Klufttypisierung	86
7.4.5	Gerüstsuche	87
7.4.6	Maschendefinition	88
7.4.7	Randbedingungen	89
7.4.8	Wegdefinition	89
7.4.9	Widerstandsgesetze	91
7.4.10	Iteration	91
7.5	Auswertung der Ergebnisse	93

8.	Neuer Ansatz zur Generierung und Modifizierung von Kluffnetzen	94
8.1	Kluffnetzgenerierung	94
8.1.1	Allgemeines	94
8.1.2	Generierte Kluffparameter und deren Verteilungen	94
8.1.3	Generierablauf	96
8.2	Kluffnetzmodifizierung	98
8.2.1	Modifizierungsmöglichkeiten	99
8.2.2	Wichtige Algorithmen	100
8.3	Geostatistische Kontrollanalyse	102
9.	Verifizierung, Berechnungsbeispiele und Parameterstudien	103
9.1	Allgemeines	103
9.2	Modellverifizierung	104
9.2.1	Vergleich mit Untersuchungen von <i>Schwille</i> und <i>Ubell</i>	104
9.2.2	Vergleich mit Untersuchungen von <i>Wilson</i> und <i>Witherspoon</i>	106
9.3	Kritische Kluffweite und Kritischer Gradient	107
9.3.1	Kritische Kluffweite	107
9.3.2	Kritischer Gradient	109
9.3.3	Iterationsverhalten	111
9.4	Variationen des Kluffabstandes - Einfluß auf Strömungsbilanz und Fließzustände im Untergrund mit regelmäßigem Kluffnetz	112
9.5	Studien zum Verbindungsgrad	118
9.6	Untersuchung mehrerer Dichtungsvarianten unter einer Talsperre auf regelmäßig, durchgehend geklüftetem Fels ( $\varepsilon = 0$ )	125
9.7	Untersuchung der Unterströmung einer Talsperre auf regelmäßig geklüftetem Gestein mit einer Störung	132
9.8	Vertikale Untergrunddichtung mit verschiedenen Tiefen - Variation von Kluffweiten und relativen Rauheiten ( $\varepsilon \neq 0$ )	137
9.9	Einfluß unterschiedlicher Kluffnetzneigungen (Klufflängen unendlich / endlich; ohne / mit Injektion)	144
9.10	Berücksichtigung einer Dränage hinter einer Injektion	151
10.	Zusammenfassung und Ausblick	157

## Anhang

Literaturverzeichnis	A- 1
Programmpaket DISKLU	A-17